

# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>1 Contesto applicativo</b>	<b>4</b>
1.1 Context-aware computing . . . . .	4
1.2 Indoor Positioning System Service . . . . .	6
1.3 Stima della posizione . . . . .	8
1.3.1 Range based . . . . .	9
1.3.1.1 Received Signal Strength Indicator - RSSI . . . . .	9
1.3.1.2 Time Of Arrival measurements . . . . .	11
1.3.1.3 Time Difference Of Arrival . . . . .	12
1.3.2 Angle Based . . . . .	13
1.3.2.1 Angle of Arrival . . . . .	13
1.4 Tecniche di posizionamento . . . . .	14
1.4.1 MIN-MAX . . . . .	15
1.4.2 Trilaterazione . . . . .	15
1.4.3 Triangolazione . . . . .	16
1.5 Sensor Fusion . . . . .	18
<b>2 Descrizione del lavoro</b>	<b>19</b>
2.1 Livello black box . . . . .	20
2.2 Livello sottosistemi . . . . .	21
2.3 Livello moduli . . . . .	24
<b>3 Tecnologie utilizzate</b>	<b>28</b>
3.1 Sensori MEMS . . . . .	28
3.2 Ultra-wideband . . . . .	28

---

<b>4</b>	<b>Elaborazione dei dati acquisiti e algoritmo di data fusion</b>	<b>29</b>
4.1	Rumore dei dati grezzi . . . . .	29
4.2	Tecniche di elaborazione . . . . .	29
4.3	Algoritmo di data fusion . . . . .	29
<b>5</b>	<b>L'implementazione</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Analisi e validazione dei risultati</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Conclusioni e prospettive future</b>	<b>32</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>33</b>

# Elenco delle figure

1	Planimetria originale . . . . .	1
2	Planimetria alterata . . . . .	1
3	Rete allo step 1 dell'esploratore . . . . .	2
4	Rete allo step 1 dell'esploratore . . . . .	2
5	Rete allo step 3 dell'esploratore . . . . .	2
6	Rete allo step 4 dell'esploratore . . . . .	2
7	Rete allo step 5 dell'esploratore . . . . .	3
8	Rete allo step 6 dell'esploratore . . . . .	3
1.1	Esempio esplicativo del concetto di contesto . . . . .	5
1.2	Sondaggio tra 74 casi di studio di applicazioni IPS [8] . . . . .	7
1.3	RSSI - Andamento della potenza in funzione della distanza percorsa dal segnale . . . . .	9
1.4	ToA - Principio di funzionamento . . . . .	11
1.5	TDoA - Principio di funzionamento . . . . .	12
1.6	TDoA - Stima della posizione lungo l'iperbole identificata da due nodi . . . . .	13
1.7	MIN-MAX - Tecnica di posizionamento . . . . .	15
1.8	Trilaterazione - Esempio esplicativo . . . . .	16
1.9	Triangolazione - Esempio esplicativo . . . . .	17
2.1	Rappresentazione dei livelli d'astrazione utilizzati per descrivere il sistema . . . . .	19
2.2	Rappresentazione del sistema come black box . . . . .	20
2.3	Rappresentazione del sistema in sottosistemi . . . . .	21
2.4	Ambiguità nella georeferenziazione di un secondo nodo utilizzando soltanto la distanza dal precedente . . . . .	22
2.5	Rappresentazione dei sottosistemi in moduli . . . . .	24

---

2.6	Rappresentazione del flusso di dati tra i moduli dei sottosistemi, step 1 . . . . .	25
2.7	Rappresentazione del flusso di dati tra i moduli dei sottosistemi, step 2 . . . . .	26
2.8	Rappresentazione del flusso di dati tra i moduli dei sottosistemi, step 3 . . . . .	26
2.9	Rappresentazione del flusso di dati tra i moduli dei sottosistemi, step 4 . . . . .	27

# Introduzione

Il lavoro di questa tesi si colloca in un progetto finalizzato alla realizzazione di un sistema di geolocalizzazione di operatori in contesti privi di segnale GPS. Quest'ultimo permetterà ad un "esploratore" di creare dinamicamente una rete di nodi all'interno di zone nelle quali il segnale GPS è assente o comunque debole. Questa rete verrà poi ampliata ed utilizzata dagli operatori successivi ad esso per geolocalizzarsi all'interno della zona ed intervenire in maniera ottimale.

Uno scenario esemplificativo è quello di un vigile del fuoco che interviene in un edificio per soccorrere una persona. Tale operatore è considerato un esploratore, poiché è il primo ad intervenire e la planimetria dell'edificio risulta essere ignota e/o cambiata a seguito dell'evento disastroso (Fig.1 e Fig.2).

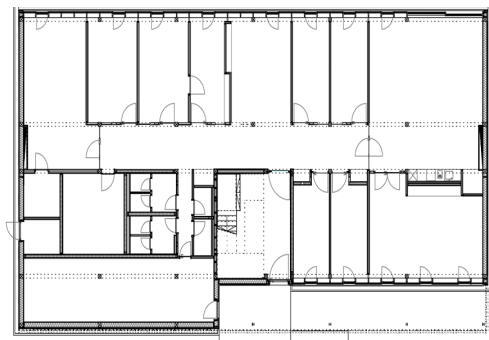


Figura 1: Planimetria originale

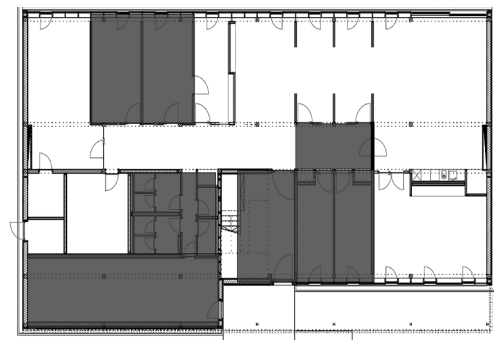


Figura 2: Planimetria alterata

I rettangoli in grigio (Fig.2) rappresentano aree non più accessibili dell'edificio, mentre le mura interrotte nuovi percorsi creati a causa dei crolli. Durante tutta la fase di *scouting* (esplorazione, ricerca, indagine), l'esploratore posizionerà un'ancora (nodo) ogni 20 metri approssimativamente e ogni qualvolta la precedente risulti non essere più in line-of-sight (linea visiva). Così facendo si "lascerà dietro una scia di briciole" che gli permetteranno di orientarsi all'interno dell'edificio, di eseguire il percorso all'inverso o di ricevere supporto da un'ulteriore operatore. Osservando dalla Fig.3 alla Fig.8, si può notare come la rete cresca man mano che l'esploratore avanza all'interno dell'edificio.

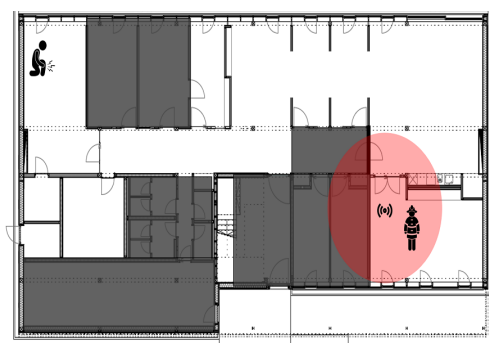


Figura 3: Rete allo step 1 dell'esploratore

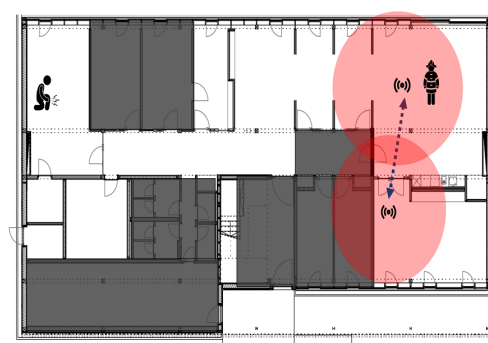


Figura 4: Rete allo step 1 dell'esploratore

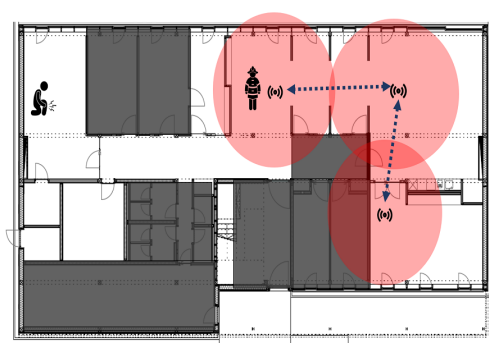


Figura 5: Rete allo step 3 dell'esploratore

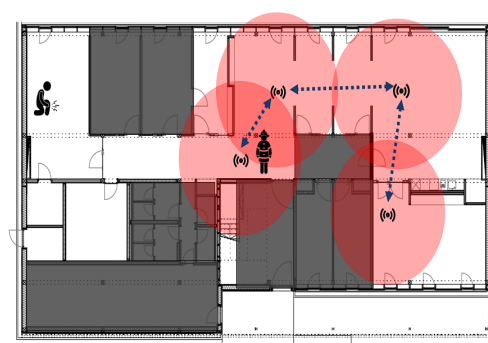


Figura 6: Rete allo step 4 dell'esploratore

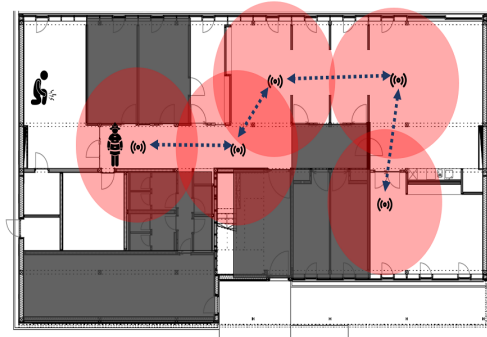


Figura 7: Rete allo step 5 dell'esploratore

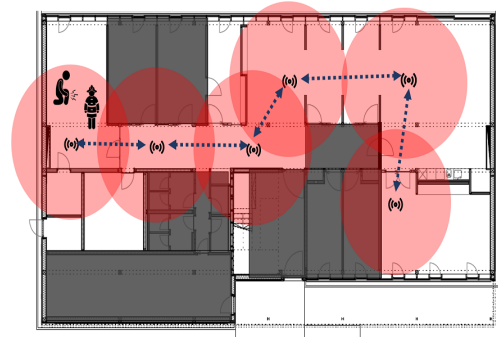


Figura 8: Rete allo step 6 dell'esploratore

Una volta creata l'infrastruttura, gli operatori potranno comunicare e condividere informazioni come posizione e stato.

La presente tesi è così strutturata:

**Capitolo 1:** Viene descritto il problema della geolocalizzazione indoor e lo stato dell'arte.

**Capitolo 2:** Viene descritto il lavoro svolto con un approccio top down.

**Capitolo 3:** Vengono illustrate le tecnologie utilizzate (sensori MEMS e UWB) e le problematiche legate ad esse.

**Capitolo 4:** Viene descritto l'elaborazione dei dati grezzi e l'algoritmo di data fusion utilizzato.

**Capitolo 5:** Si riporta l'implementazione software e hardware dei sottosistemi.

**Capitolo 6:** Si analizzano i risultati ottenuti.

# Capitolo 1

## Contesto applicativo

–Aggiungere motivazioni del lavoro, stato dell’arte della geolocalizzazione indoor e quali problemi si vogliono risolvere–

### 1.1 Context-aware computing

Il sistema realizzato nell’ambito di questa tesi, si colloca nel paradigma di computazione noto come *Context-aware computing*, ovvero un’applicazione nel quale i servizi utilizzano informazioni relative al contesto. In [1] si definisce come *context*:

*Ogni informazione che può essere usata per caratterizzare la situazione di un’entità. Ovvero una persona, un posto o un oggetto che è considerato rilevante all’interazione tra l’utente e l’applicazione, inclusi quest’ultimi.*

Questa definizione facilita il lavoro di progettazione e sviluppo di un’applicazione permettendo di identificare quali informazioni sono importanti e quali no. Si consideri un’applicazione nel quale l’utente deve registrare il peso degli oggetti presenti nel magazzino tramite una bilancia come mostrato dalla Fig.1.1:





Figura 1.1: Esempio esplicativo del concetto di contesto

Nello scenario descritto le *entità* sono rispettivamente utente e sistema, mentre due possibili informazioni riguardanti il contesto sono la presenza di altre persone e la posizione geografica del magazzino.

La presenza di altre persone nelle vicinanze non influisce il compito dell'utente, quindi non può essere considerato come informazione contestuale. La posizione geografica del magazzino invece sì, infatti se quest'ultimo fosse situato in Italia il peso verrebbe calcolato in chilogrammi mentre se fosse situato negli USA verrebbe calcolato in libbre.

I sistemi che reperiscono, usano o interpretano queste informazioni contestuali sono detti *context-aware* e vengono definiti in [1] come:

*Un sistema è context-aware se usa il contesto per fornire informazioni rilevanti e/o servizi agli utenti, dove la rilevanza dipende dal compito degli utenti.*

Uno dei tipi di context-aware più utilizzati si basa sul contesto della localizzazione, ovvero servizi basati sulla conoscenza di dove qualcosa o qualcuno si trovi. Nell'era moderna i servizi basati sulla localizzazione (in inglese: Location based services LBSs) stanno assumendo sempre più importanza nelle attività quotidiane dell'uomo grazie alle molteplici possibili applicazioni, tra le quali navigazione assistita per autoveicoli, tracking di persone sensibili (bambini, anziani, malati), servizi di emergenza e così via.

I LBSs vengono divisi in due macro categorie:

- **OPSs:** Outdoor Positioning System Service, ovvero servizi di localizzazione in ambienti aperti.
- **IPSs:** Indoor Positioning System Service, ovvero servizi di localizzazione in ambienti indoor.

La tecnologia satellitare nota come Global Positioning System (GPS) è la tecnologia dominante negli OPSs. Attraverso una rete dedicata di satelliti artificiali in orbita, fornisce ad un terminale mobile o ricevitore GPS informazioni sulle sue coordinate geografiche ed orario, in ogni condizione meteorologica, ovunque sulla Terra o nelle sue immediate vicinanze ove vi sia un contatto privo di ostacoli con almeno quattro satelliti del sistema. La localizzazione avviene tramite la trasmissione di un segnale radio da parte di ciascun satellite e l'elaborazione dei segnali ricevuti da parte del ricevitore [2].

Il grande limite di questa tecnologia è che i ricevitori devono essere nella line of sight (letteralmente a vista d'occhio) di almeno quattro satelliti nel cielo, questo significa che all'interno di edifici e spazi chiusi il segnale viene attenuato e i sistemi perdono di accuratezza. Quindi la tecnologia GPS non è adatta ai servizi di localizzazione indoor.

Il sistema realizzato nell'ambito di questa tesi si colloca nell'ambito degli IPSs approfonditi nel paragrafo successivo.

## 1.2 Indoor Positioning System Service

Un sistema di posizionamento indoor (in inglese: Indoor positioning system o IPS) è un sistema in grado di localizzare *oggetti* o *persone* all'interno di edifici utilizzando onde radio, campi magnetici, segnali acustici e/o altre informazioni raccolte dai sensori all'interno di dispositivi mobili [3] o da altri appositamente installati nell'ambiente. Questi sono una specializzazione dei più generici sistemi **RTLS**, standardizzati dall'*International Organization for Standardization and the International Electro Technical Commission* (ISO/IEC 24730). Lo standard definisce i sistemi RTLS come:

*“ I Real time locating system sono sistemi wireless con l'abilità di localizzare la posizione di oggetti ovunque essi siano in uno spazio definito in un certo momento che è, o si avvicina, real time. La posizione è derivata dalla misurazione delle proprietà fisiche del collegamento radio.”*

La differenza tra RTLS e IPS è che i primi sono stati pensati per le compagnie che vogliono tracciare i propri oggetti e le persone, fornendo uno storico di dove sono stati e dove si trovano ora, mentre gli IPS sono pensati per essere utilizzati da utenti su dispositivi mobili per navigare ed orientarsi all'interno di edifici. Come già accennato, gli IPS [4] permettono di creare una vasta gamma di servizi, ad esempio:

- **Way-Finding:** permettere di navigare in edifici complessi, come ad esempio aeroporti, seguendo il percorso indicato.
- **Ricerca dei punti d'interesse,** aumentare la customer experience facendo trovare all'utente ciò che desidera.
- **Multi-Dot:** visualizzare in una mappa le posizioni degli utenti per tracciare persone potenzialmente in pericolo (bambini, anziani).
- **Marketing di prossimità:** realizzare marketing mirati, inviando annunci sulle ultime offerte.

L'elenco di cui sopra rappresenta solo un ridotto sottoinsieme dei potenziali campi applicativi (vedi Fig.1.2), per questo motivo negli ultimi anni [7] l'interesse nella ricerca e nello sviluppo di sistemi di questo tipo è cresciuto sempre più tra le aziende, che hanno percepito la possibilità di grandi profitti in un mercato non ancora esplorato del tutto.

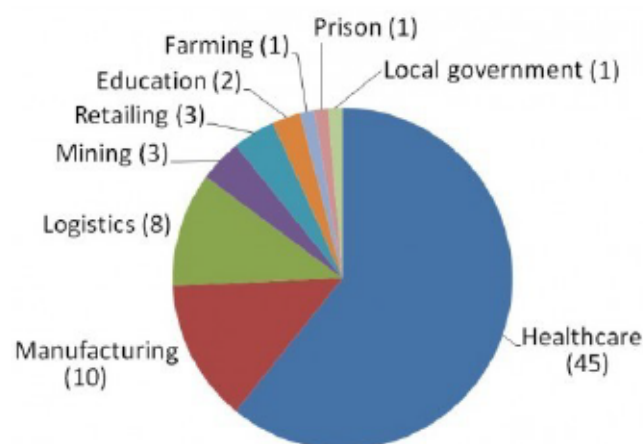


Figura 1.2: Sondaggio tra 74 casi di studio di applicazioni IPS [8]

Secondo un sondaggio di *Markets and Markets* e un articolo pubblicato da *The International News Magazine*, il mercato degli IPS subirà una crescita annuale media del 42.1% arrivando a valere 2.60 bilioni di dollari nel 2018. Questo dà un'idea del perché grandi aziende come Google, Sony, Microsoft e Apple stiano investendo in questo settore.

Un'ulteriore spinta è data dal fatto che, al contrario del GPS per gli OPS (vedi 1.1), tuttora non esiste uno standard di riferimento per gli IPS. Infatti sul mercato sono disponibili diversi tipi di IPS commerciali che si differenziano in base al principio di funzionamento e alle tecniche utilizzate, utilizzando hardware specifico o la combinazione di più sistemi.

### 1.3 Stima della posizione

Gli IPS possono essere classificati sulla base di diversi fattori, uno di questi è su come determinano la posizione dei.

Stimare [4] la distanza tra dispositivi wireless è utile perché attraverso questa informazione è possibile determinarne (con un certo errore) la posizione di un ricevitore rispetto ad un trasmettitore ([5], [6]), queste tecniche si distinguono in:

- **Range based:**

- *RSSI* - potenza del segnale radio ricevuto (sez.1.3.1.1)
- *ToA* - tempo d'arrivo: (sez.1.3.1.2)
- *TDoA* - differenze del tempo di arrivo (sez.1.3.1.3);

- **Angle based:**

- *AoA* - Angle of Arrival (sez.1.3.2.1).

Per poter determinare le distanze si devono distinguere i punti di riferimento (che hanno delle coordinate note) dai nodi senza posizione nota a cui assegnare delle coordinate. Si dicono:

- **Anchor:** i nodi le cui coordinate sono note
- **Target:** il nodo di cui non si conosce la posizione.

L'obiettivo del posizionamento è assegnare le giuste coordinate agli Unknown rispetto ad un sistema di riferimento. Questo è strettamente legato all'implementazione dell'IPS e così anche la codifica delle posizioni all'interno del sistema di riferimento, le coordinate potrebbero essere restituite all'utente in maniera relativa ("vicino alla cucina") oppure assoluta ("tre metri in direzione ovest dal nodo 1").

### 1.3.1 Range based

Nel posizionamento dei nodi basato sulla distanza la stima della posizione del target dipende dai seguenti parametri:

- il tempo trascorso tra l'emissione e la ricezione del segnale radio;
- la distanza euclidea tra ogni emettitore ed il ricevitore;
- la potenza del segnale ricevuto.

In alcuni casi sono necessarie tre o più Anchor per ottenere le coordinate da assegnare allo Unknown.

#### 1.3.1.1 Received Signal Strength Indicator - RSSI

La comunicazione [4] tra dispositivi wireless (senza fili) avviene tramite lo scambio di segnali propagati nell'aria. Durante la propagazione i segnali tendono ad attenuarsi con l'aumentare della distanza percorsa fino a non essere più percepibili.

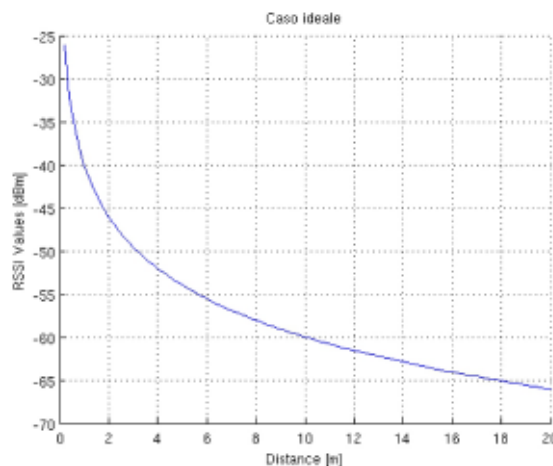


Figura 1.3: RSSI - Andamento della potenza in funzione della distanza percorsa dal segnale

La stima della potenza del segnale ricevuto è data dall'indicatore RSSI [9]. La distanza emettitore-ricevitore si stima utilizzando **l'equazione di trasmissione di Friis**.

$$P_T = P_R \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^n} \quad (1.1)$$

dove:

- $P_R$ : potenza del segnale ricevuto (Watt)
- $P_T$ : potenza del segnale trasmesso (Watt)
- $G_R$ : guadagno dell'antenna ricevente
- $G_T$ : guadagno dell'antenna trasmittente
- $\lambda = \frac{v}{f}$ : lunghezza d'onda, dove  $v$  è la velocità di propagazione e  $f$  è la frequenza dell'onda
- $d$ : distanza espressa in metri
- $n$ : costante di propagazione del segnale che dipende dall'ambiente

Con la seguente equazione invece è possibile convertire la potenza espressa in Watt nella potenza espressa in dBm:

$$P[dBm] = 10 \log_{10}(10^3 P[W]) \quad (1.2)$$

Combinando l'equazione 1.1 con 1.2 e applicando le proprietà dei logaritmi si ottiene:

$$RSSI = -(10n \log_{10} d - A) \quad (1.3)$$

dove  $A$  è la potenza del segnale ricevuto a distanza fissa di un metro (espressa in dBm), considerando una costante di propagazione  $n$ .

La stima della distanza si ottiene infine dalla seguente equazione:

$$d = 10^{\left(\frac{A - RSSI}{10n}\right)} \quad (1.4)$$

Tuttavia la distanza restituita non è del tutto precisa, infatti la potenza del segnale potrebbe essere alterata dall'ambiente circostante attraverso i fenomeni di **Riflessione** (il segnale sbatte e si riflette su vari ostacoli seguendo più percorsi) e di **Assorbimento** (il decadimento viene alterato dagli oggetti presenti). Tale tecnica viene solitamente completata utilizzando il metodo della **Trilaterazione** (sez.1.4.2)

### 1.3.1.2 Time Of Arrival measurements

A differenza del precedente metodo, con questa tecnica la distanza tra emettitore e ricevitore viene stimata sulla base del tempo impiegato dal segnale a raggiungere il ricevitore. Nello specifico la sequenza di azioni è:

1. Il nodo *A* invia il segnale al tempo  $t_1$
2. Il segnale arriva al nodo *B* al tempo  $t_2$
3. *B* elabora il messaggio impiegando un tempo  $t_d$  e lo invia al tempo  $t_3$
4. Il segnale torna al nodo *A* al tempo  $t_4$

Come mostrato dalla figura seguente:

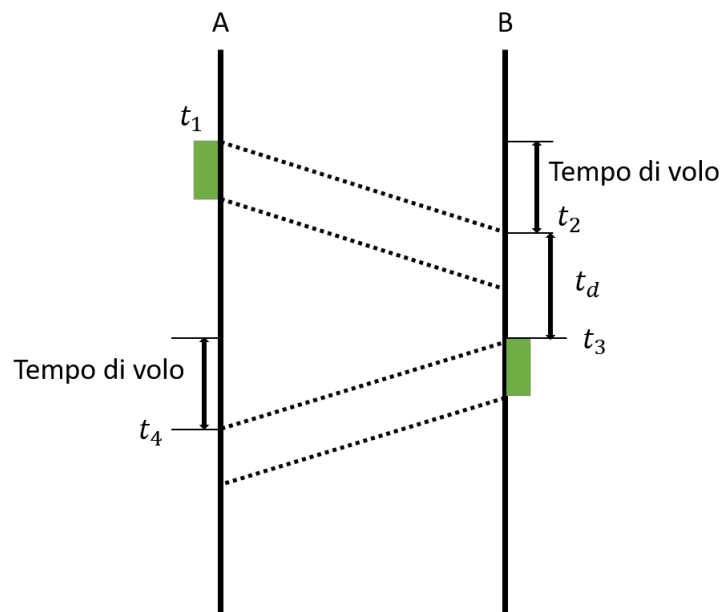


Figura 1.4: ToA - Principio di funzionamento

Quindi il tempo di viaggio può essere ricavato con la seguente equazione:

$$t_d = \frac{(t_4 - t_1) - (t_3 - t_2)}{2} \quad (1.5)$$

E infine la distanza stimata attraverso:

$$d_{ToA} = t_d * c \quad (1.6)$$

dove  $c$  è la velocità di propagazione della luce nel vuoto pari a 299792458 m/s. Per identificare in modo univoco un target, questa tecnica viene completata dalla tecnica di posizionamento nota come **Trilaterazione** (sez. 1.4.2), come per le misure RSSI viste precedentemente.

Il difetto principale di questa tecnica consiste nel fatto che sistemi utilizzati devono avere un complesso meccanismo di sincronizzazione per mantenere una fonte affidabile di tempo per i sensori[11].

### 1.3.1.3 Time Difference Of Arrival

Questa tecnica è basata sulla differenza nel tempo di arrivo di un segnale emesso da due sorgenti diverse verso un altro nodo, come mostrato in Fig.1.5).

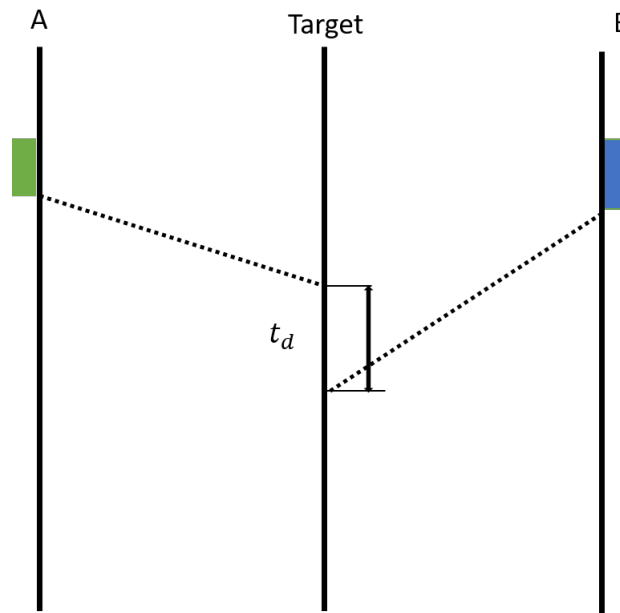


Figura 1.5: TDoA - Principio di funzionamento

Se si suppongono note le posizioni dei nodi  $A$  e  $B$  rispetto ad un sistema di riferimento, indicate rispettivamente dalle tuple  $(x_B, y_B)$  e  $(x_A, y_A)$ , la distanza del nodo *Target* può essere stimata dalla seguente equazione:

$$\Delta d = \Delta t_d * c \quad (1.7)$$

Dove:



- $c$  è la velocità di propagazione della luce nel vuoto
- $\Delta t$  è la differenza del tempo di arrivo dei segnali emessi dai nodi  $A$  e  $B$
- $\Delta d$  è la distanza in due dimensioni:  $(\sqrt{(x_B - x)^2 + (y_B - y)^2} - \sqrt{(x_A - x)^2 + (y_A - y)^2})$

In questo modo, la posizione del *target* viene stimata all'interno del luogo geometrico dei punti del piano aventi come costante la differenza delle distanze tra i nodi, ovvero dall'iperbole avente come fuochi i nodi  $A$  e  $B$ . Come mostrato in Fig.

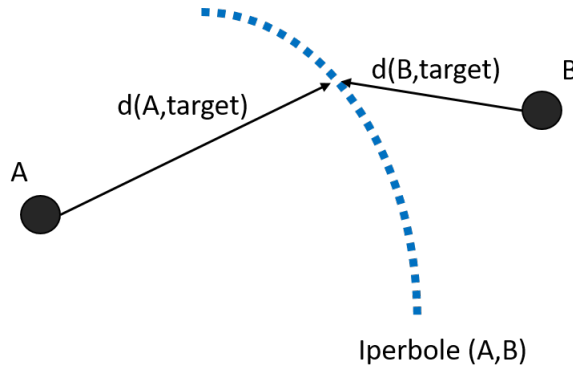


Figura 1.6: TDoA - Stima della posizione lungo l'iperbole identificata da due nodi

Tuttavia così facendo la posizione del *target* rimane stimata in un'insieme di punti infinito, quindi come per le tecniche viste precedentemente (1.3.1.1 e 1.3.1.2) per identificare in modo univoco il target questa tecnica ha bisogno di essere completata dalla tecnica di posizionamento nota come **Trilaterazione** 1.4.2.

## 1.3.2 Angle Based

### 1.3.2.1 Angle of Arrival

Con questa tecnica la posizione del *target* viene stimata misurando gli angoli di incidenza del segnale trasmesso ad altri nodi.

Si consideri [12] un antenna in un canale di propagazione, la tensione del segnale ricevuto (??) è data dalla seguente equazione:

$$V = \int_0^{2\pi} A_o A(\varphi) G(\varphi) d\varphi \quad (1.8)$$

Dove:

- $AoA(\varphi)$  rappresenta l'ampiezza e la fase dell'onda incidente
- $G(\varphi)$  è il campo elettrico del nodo target
- $C$  valore proporzionale costante

Se si ruota l'antenna di un angolo  $\alpha$  intorno a se stessa nel piano cartesiano la precedente equazione diventa:

$$V(\alpha) = \int_0^{2\pi} AoA(\alpha - \varphi)G(\varphi)d\varphi \quad (1.9)$$

Possiamo notare che l'Eq.1.9 è la convoluzione di  $AoA$  e  $G$  e può essere scritta nel seguente modo:

$$V(\alpha) = CAoA(\alpha) * G(\alpha) \quad (1.10)$$

Si è scelto di normalizzare l'Eq.1.10 con il valore costante  $C$ . Quindi, utilizzando la trasformata di Fourier l'Eq.1.10 diventa:

$$F(V(\alpha)) = F(AoA(\alpha))F(G(\alpha)) \quad (1.11)$$

Da cui è possibile calcolare l'angolo di incidenza desiderato:

$$AoA(\alpha) = F^{-1} \frac{F(V(\alpha))}{F(G(\alpha))} \quad se \quad F(G(\alpha)) \neq 0 \quad (1.12)$$

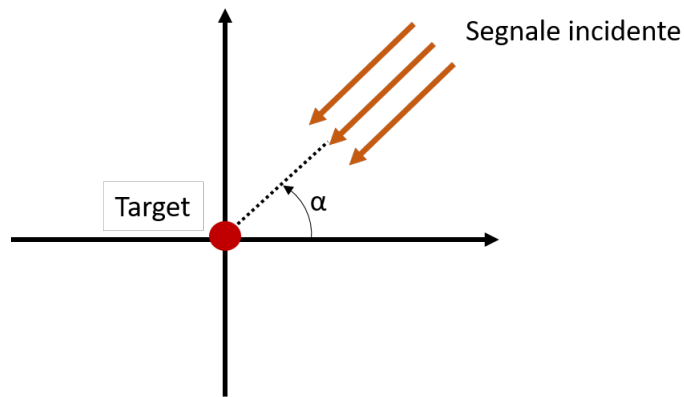


Figura 1.7: AoA - Stima della posizione attraverso l'angolo di incidenza

Il vantaggio dell'AoA risiede nella possibilità di ottenere un risultato attendibile senza la necessità di informazioni riguardanti i tempi di trasmissione. A fronte del

risparmio dal punto di vista computazionale, la tecnica presenta alcuni svantaggi pratici, dovuti al costo dell'hardware, che al fine di restituire informazioni precise, deve essere di alta qualità; rischiando altrimenti di incorrere in fenomeni che comprometterebbero la misurazione. Per questo motivo solitamente questa tecnica viene completata dalla tecnica di posizionamento nota come *Triangolazione* (1.4.3).

## 1.4 Tecniche di posizionamento

Per tecniche di posizionamento si intendono tutte quelle tecniche che, combinate alle differenti metodologie di stima della posizione viste precedentemente (vedi 1.3), permettono di individuare la posizione di un nodo *target* all'interno di un sistema di riferimento.

In questo paragrafo vengono illustrate quelle più conosciute e basilari nell'ambito degli IPS.

### 1.4.1 MIN-MAX

Combina le stime della distanza di più *anchor*, ottenute attraverso tecnica *RSSI* (1.3.1.1), nel seguente modo:

- Stimare la distanza  $d_i$  di ogni nodo  $i$ -esimo in base al valore *RSSI*
- Traccia due linee orizzontali e verticali a distanza  $d_i$  dallo nodo *target*
- Identifica un quadrato di lato  $2 d_i$  i cui estremi saranno:  
 $[max(x_i - d_i, min(x_i + d_i)), max(y_i - d_i, min(y_i + d_i))]$
- Calcola le intersezioni dei quadrati

Il centro del quadrato (Fig.1.7) rappresenta la posizione stimata del *target*. Più piccola sarà l'area e maggiore sarà l'accuratezza della posizione stimata.

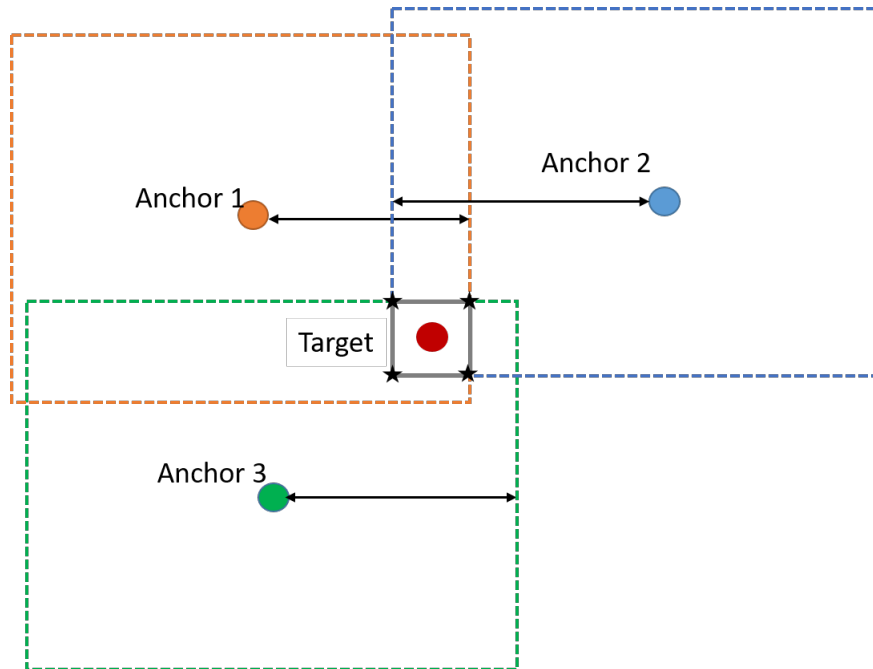


Figura 1.8: MIN-MAX - Tecnica di posizionamento

### 1.4.2 Trilaterazione

Consideriamo 3 *Anchor* intorno cui disegniamo 3 circonferenze aventi per centro le coordinate degli *Anchor* e per raggio l'RSSI del segnale ricevuto dallo *Unknown*, come mostrato in figura:

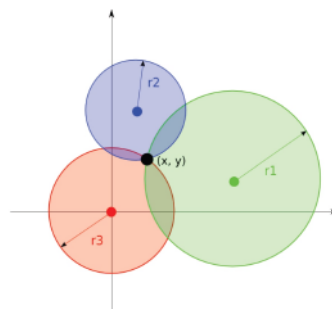


Figura 1.9: Trilaterazione - Esempio esplicativo

Quindi le coordinate dell'Unknown sono la soluzione del seguente sistema:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r_2^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = r_3^2 \end{cases} \quad (1.13)$$

In base alla soluzione del sistema si può avere una delle seguenti situazioni:

- La soluzione non è unica, si hanno tre cerchi che si sovrappongono
- Il sistema non ammette soluzione, i raggi vanno aumentati
- La soluzione esiste ed è unica, i tre cerchi si intersecano in un solo punto

### 1.4.3 Triangolazione

A differenza delle Trilaterazione (1.4.2), queste tecniche identificano la posizione del nodo *target* a partire dagli angoli stimati da tre anchors attraverso una delle tecniche Angle Based (1.3.2).

In [13] si descrive la triangolazione geometrica attraverso il seguente algoritmo:

1. Siano  $1, 2$  e  $3$  le anchor in grado di stimare l'angolo, rispetto ad una circonferenza concentrica all'anchor stessa, del nodo *target*
2. siano  $L_{12}$  e  $L_{31}$  rispettivamente le distanze tra l'anchor 1 e 2 e l'anchor 3 e 1
3. Siano gli angoli compresi tra  $1$  e  $2$  e tra  $1$  e  $3$ , indicati rispettivamente con  $\lambda_{12}$  e  $\lambda_{13}$ , minori di  $180^\circ$
4. sia  $\phi$  l'angolo tra l'asse  $x$  positivo e la linea formata dall'anchor  $1$  e  $2$
5. sia  $\sigma$  l'angolo tra l'asse  $x$  positivo, l'anchor  $1$  e l'anchor  $3$  più  $\phi$
6. sia  $\gamma = \sigma - \lambda_{31}$
7. sia  $p = \frac{L_{31} \sin \lambda_{12}}{L_{12} \sin \lambda_{31}}$
8. sia  $\tau = \tan^{-1} \frac{\sin \lambda_{12} - p \sin \gamma}{p \cos \gamma - \cos \lambda_{12}}$

9. sia  $L_1 = \frac{L_{12} \sin(\tau + \lambda_{12})}{\sin \lambda_{12}}$

Allora le coordinate  $x$  e  $y$  del target sono date da:

- $x_R = x_1 - L_1 \cos(\phi + \tau)$
- $y_R = y_1 - L_1 \sin(\phi + \tau)$
- $\Phi_R = \phi + \tau - \lambda_1$

Dove  $\Phi_R$  rappresenta l'orientamento del nodo target, come mostrato in Fig.1.9.

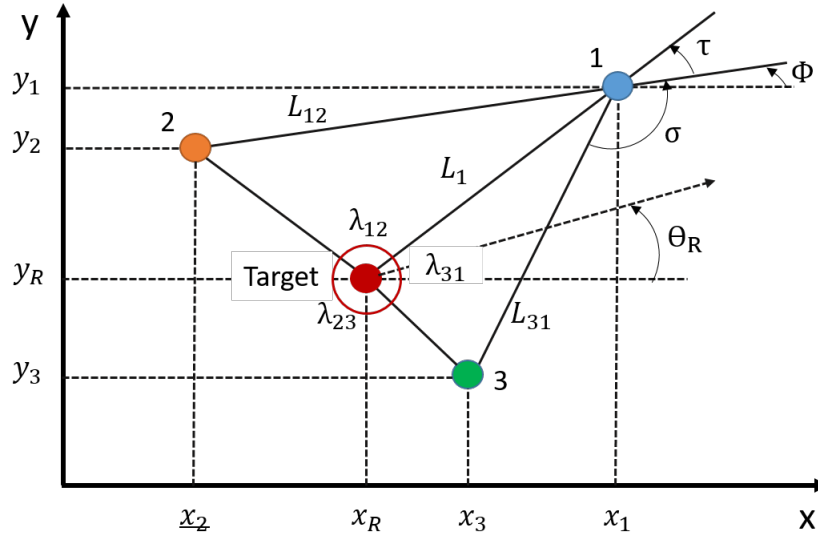


Figura 1.10: Triangolazione - Esempio esplicativo

## 1.5 Sensor Fusion

Con Sensor Fusion si indicano tutte quelle tecniche che permettono di combinare dati sensoriali forniti da fonti diverse al fine di ottenere delle informazioni risultanti migliori in confronto a quanto sarebbe stato possibile ottenere utilizzando le stesse fonti singolarmente. Questo può significare ottenere valori più precisi, più completi e più affidabili. Nel contesto dell'indoor positioning la sensor fusion permette di unire ogni fonte di dati legate alla posizione per ottenere un posizionamento universale ancora più preciso e veloce, ottimizzando i tempi di stima e la precisione.

---

Molti dei dati che possono essere registrati dai sensori integrati negli smartphone sono: le alterazioni dei campi magnetici; i segnali Wi-Fi; i pacchetti Beacon Bluetooth; la pressione atmosferica; le variazioni di posizione mediante accelerometro e/o giroscopio.

## Capitolo 2

### Descrizione del lavoro

Per comprendere la soluzione proposta e il sistema ideato si utilizzerà un approccio top-down. Partendo da un livello d'astrazione tale in cui emergono solo i requisiti funzionali e il sistema è rappresentato da una *black box*, si raggiunge un livello che permetterà di affinare i requisiti iniziali e mostrare i *sottosistemi* che lo costituiscono. Infine nell'ultimo livello avremo una visione dei *moduli* che compongono i sottosistemi e che sono stati realizzati nel contesto di questa tesi.

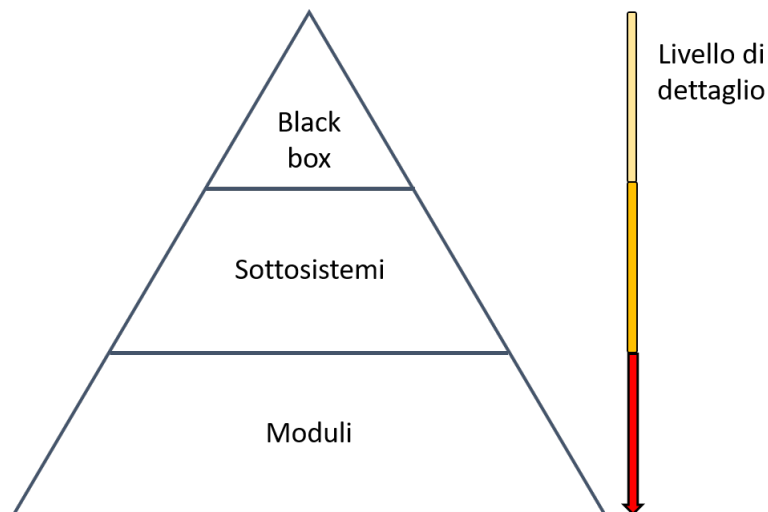


Figura 2.1: Rappresentazione dei livelli d'astrazione utilizzati per descrivere il sistema



## 2.1 Livello black box

Considerando il sistema in questione come una black box (Fig.2.2) e l'infrastruttura di rete in modo astratto, i due macro-requisiti funzionali sono rispettivamente:

- **R1:** Geolocalizzare l'operatore
- **R2:** Trasmettere messaggi predefiniti come stato della vittima e codici d'emergenza.

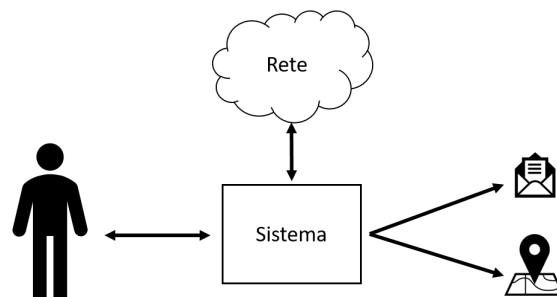


Figura 2.2: Rappresentazione del sistema come black box

Nelle fasi primordiali del progetto, si è scelto di allocare la maggior parte delle risorse lavorative nel completamento di **R1** lasciando ad una fase successiva lo sviluppo di **R2**, per questo motivo d'ora in avanti si considereranno come unico requisito la geolocalizzazione dell'operatore. *R1* può essere suddiviso in due requisiti più specifici:

- **R1.1:** Determinare la posizione di un operatore all'interno della rete
- **R1.2:** Identificare il cammino minimo da un nodo ad un altro

Quest'ultimo rappresenta sia la possibilità da parte dell'operatore di eseguire il percorso all'inverso, sia la possibilità che venga raggiunto da una squadra di supporto. A questo punto si può scendere al livello d'astrazione successivo (2.1).

## 2.2 Livello sottosistemi

Come già accennato nell'introduzione, la rete verrà costruita dinamicamente da un'esploratore e man mano che egli avanza verrà ampliata aggiungendo nuovi nodi. Realizzare una rete del genere introduce numerose problematiche, alcune strettamente legate alla tecnologia utilizzata (vedi cap.3) altre alle caratteristiche richieste. Nello specifico la problematica sulla quale il lavoro di questa tesi si è concentrato è la progettazione e lo sviluppo dei sottosistemi destinati alla georeferenziazione della rete, ovvero l'attribuzione dell'informazione riguardante la dislocazione geografica dei nodi all'interno della rete.

In questo contesto i sottosistemi individuati nella fase di progettazione sono rappresentati dalla seguente figura:

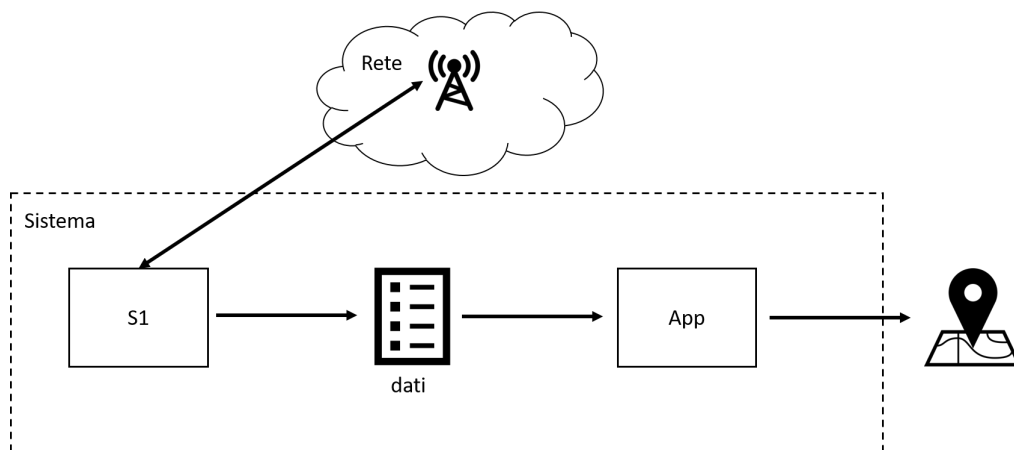


Figura 2.3: Rappresentazione del sistema in sottosistemi

Ognuno dei quali con la propria responsabilità:

- **S1**: ha il compito di ricavare tramite la rete e altri sensori i dati necessari
- **App**: ha il compito di ricevere i dati da S1, elaborarli e infine fornire la posizione del nuovo nodo rispetto alla rete

La soluzione al problema si costruisce per iterazione georeferenziano i singoli nodi nel momento in cui vengono aggiunti dall'operatore. Con riferimento all'esempio illustrato precedentemente (vedi Fig.3- Fig.8), si consideri lo step 2.

Per ipotesi si supponga che il primo nodo sia già georeferenziano, nel momento in

cui l'operatore risulti essere al limite della line-of-sight e/o della distanza di sicurezza (20 mt) piazzerà il secondo nodo. Per georeferenziarlo (rispetto al primo) sono necessarie due informazioni fondamentali:

- La distanza tra i due nodi
- L'angolo tra i due nodi

Per mantenere il livello d'astrazione attuale ci basta sapere che le caratteristiche della tecnologia utilizzata nell'implementazione della rete, fa sì che le singole celle abbiano un raggio d'azione all'interno del quale il sottosistema *SI* può calcolare la distanza tra l'operatore e il centro della cella di appartenenza.

Tale informazione non è però sufficiente, infatti ci sono infiniti punti sulla circonferenza con centro nel primo nodo e raggio pari alla distanza. Per poter georeferenziare in modo univoco il secondo nodo si deve trovare anche l'angolo in riferimento al primo nodo, tale compito non è banale e tanto meno le metodologie univoche e perfette.

La figura seguente rappresenta un tentativo di georeferenziare il secondo nodo utilizzando soltanto la distanza tra i due nodi.

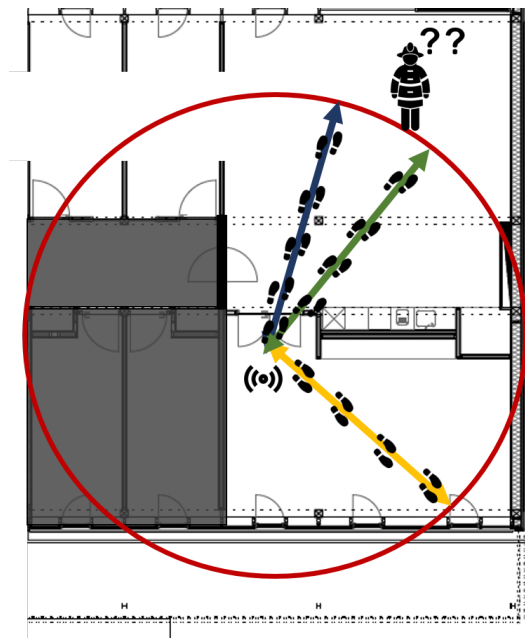


Figura 2.4: Ambiguità nella georeferenziazione di un secondo nodo utilizzando soltanto la distanza dal precedente

Nell'esempio appena proposto, si sono mostrate solo tre delle possibili infinite posizioni del secondo nodo. Si assuma che il punto corretto sia l'intersezione tra il vettore in blu e la circonferenza. In tal caso un'ambiguità con il vettore in verde potrebbe essere accettata in quanto si discosta di pochi metri dalla reale posizione, ben diversa sarebbe un'ambiguità con il vettore in giallo che renderebbe l'informazione del tutto errata e il sistema disinformatore.

Per il momento è sufficiente sapere che l'algoritmo utilizzato nel contesto di questa tesi (vedi cap.4.3), esegue un campionamento durante il tragitto tra un nodo e l'altro combinando i dati inerenti alla distanza dell'operatore con quelli relativi agli angoli lungo il percorso. Nel prossimo paragrafo si raggiungerà il livello d'astrazione più basso della piramide (vedi 2.1) dettagliando i moduli che compongono i due sottosistemi e illustrando come questi intendono risolvere il problema di georeferenziazione appena esposto.

## 2.3 Livello moduli

Prima di "aprire" i due sottosistemi è bene specificare che si utilizzerà il termine *modulo* per riferirsi sia a componenti hardware che software. Questo abuso di notazione permetterà di mostrare con un unico livello d'astrazione tutti i moduli progettati e realizzati al fine di risolvere il problema della georeferenziazione dei nodi.

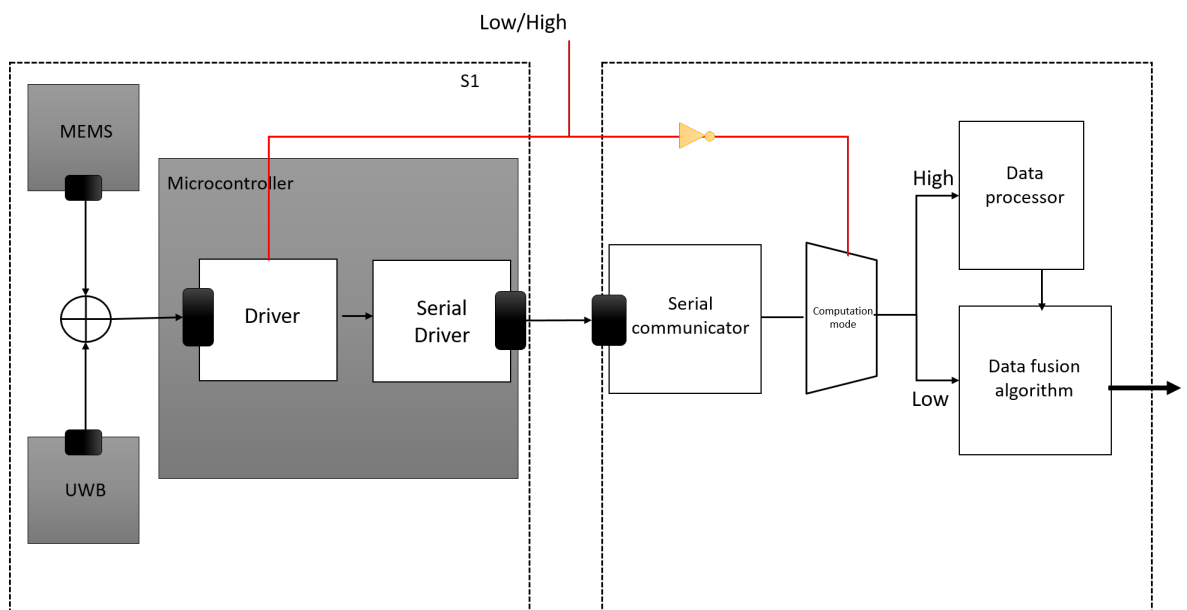


Figura 2.5: Rappresentazione dei sottosistemi in moduli

Per esplicitare al meglio i compiti dei singoli moduli e mantenere l'attuale livello d'astrazione, fermo restando che tutti i dettagli tecnici verranno forniti nei capitoli successivi, si mostrerà il flusso di dati generato in uno qualsiasi degli intervalli di campionamento lungo il tragitto dell'operatore tra un nodo e l'altro.

Il flusso inizia nel momento in cui il *driver* acquisisce le informazioni dai moduli *MEMS* e *UWB* riguardanti la distanza, la velocità angolare e l'accelerazione lineare dell'operatore. Come mostrato dalla Fig.2.6.

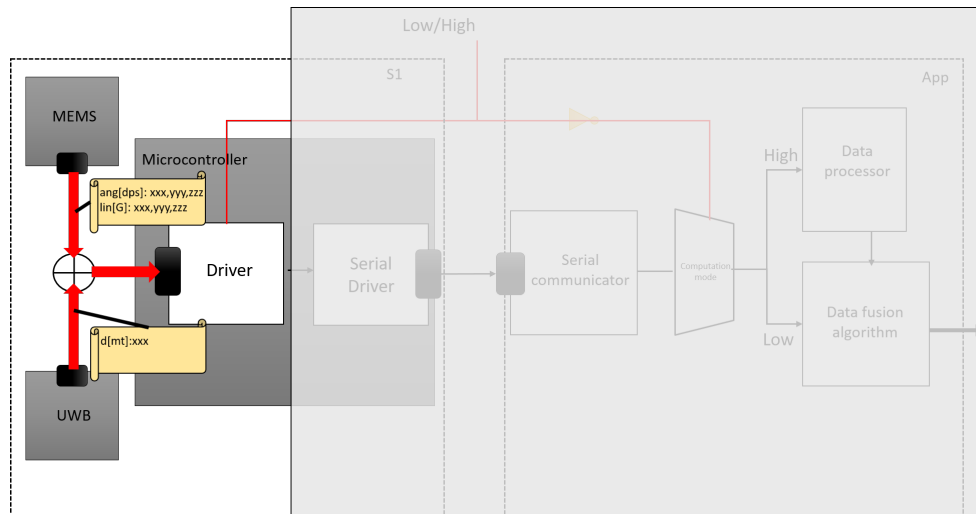


Figura 2.6: Rappresentazione del flusso di dati tra i moduli dei sottosistemi, step 1

I dati acquisiti sono "grezzi" e devono essere elaborati (vedi cap.4.1). Quando e da chi questa computazione verrà eseguita durante il flusso, viene stabilito attraverso il comando Low/High. Da questo ne consegue anche la modalità di funzionamento del driver in:

- **HCM:** High Computation mode, i dati vengono elaborati dal microcontrollore
- **LCM:** Low Computation mode, i dati verranno elaborati in seguito dal sottosistema *App*

La scelta tra quale di queste due modalità utilizzare verrà motivata nel capitolo riguardante l'analisi dei risultati (cap.4), per il momento si ipotizzi di settare la linea di comando al valore "Low" e quindi di utilizzare il driver in *LCM*. Con queste impostazioni i dati grezzi vengono impacchettati ed etichettati con un timestep relativo, prima di essere inviati dal modulo *Serial driver* e ricevuti dal sottosistema *App* mediante il modulo *Serial communicator*, quest'ultimo li inoltra all'ingresso del multiplexer *Computation mode* come mostrato in Fig.2.7:

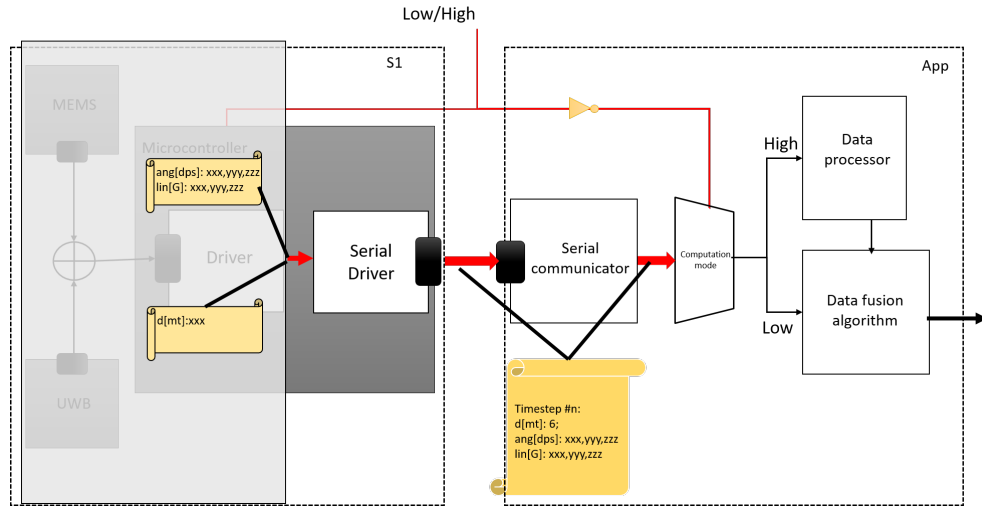


Figura 2.7: Rappresentazione del flusso di dati tra i moduli dei sottosistemi, step 2

Poiché per ipotesi si è scelto di settare la linea di comando sul valore **Low**, la sua negazione sul ramo del sottosistema *App* fa sì che il multiplexer devii il flusso di dati verso il modulo *Data processor* come mostrato in figura:

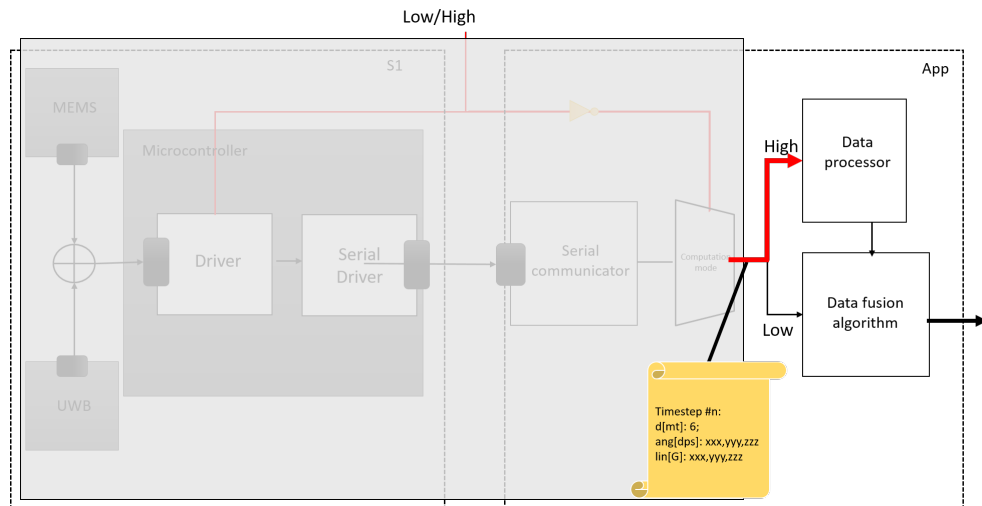


Figura 2.8: Rappresentazione del flusso di dati tra i moduli dei sottosistemi, step 3

A questo punto il modulo *Data processor* elabora i dati grezzi (vedi cap.4) fornendo in uscita le seguenti informazioni:

- **d**: la distanza in metri tra il centro della cella e l'operatore
- **acc**: l'accelerazione lineare dell'operatore lungo gli assi X,Y e Z
- **rot**: i quaternioni (vedi Appendice.??) di rotazione dell'operatore

Infine questi dati verranno usati come input dal modulo *Data fusion algorithm* (vedi 4.3) che provvederà, una volta terminato il tragitto da parte dell'operatore, a determinare l'angolo del nuovo nodo rispetto al precedente e quindi a risolvere il problema di georeferenziazione emerso precedentemente (vedi 2.2).

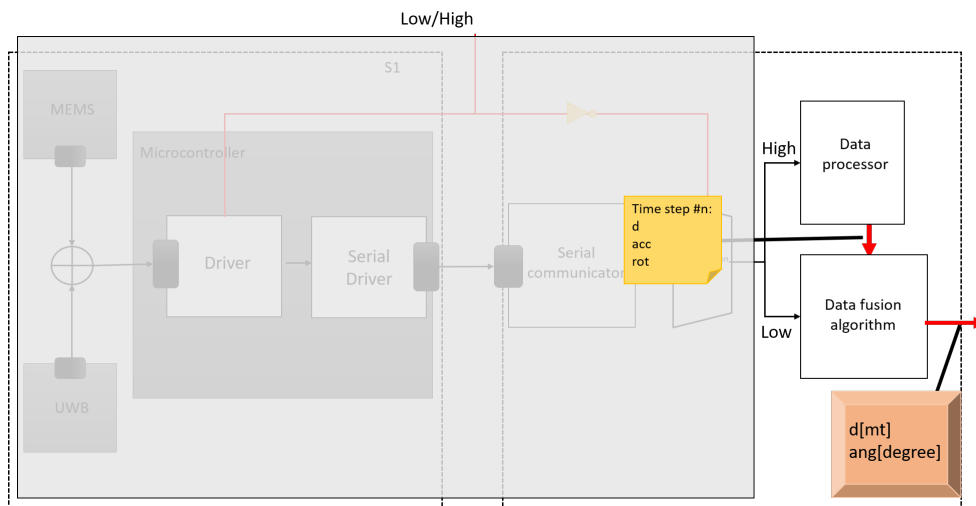


Figura 2.9: Rappresentazione del flusso di dati tra i moduli dei sottosistemi, step 4



## **Capitolo 3**

### **Tecnologie utilizzate**

#### **3.1 Sensori MEMS**

#### **3.2 Ultra-wideband**

## **Capitolo 4**

### **Elaborazione dei dati acquisiti e algoritmo di data fusion**

**4.1 Rumore dei dati grezzi**

**4.2 Tecniche di elaborazione**

**4.3 Algoritmo di data fusion**

## **Capitolo 5**

### **L'implementazione**

## **Capitolo 6**

### **Analisi e validazione dei risultati**

## **Capitolo 7**

### **Conclusioni e prospettive future**

# Bibliografia

- [1] Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness <ftp://ftp.cc.gatech.edu/pub/gvu/tr/1999/99-22.pdf>
- [2] Sistema di posizionamento globale [https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_di\\_posizionamento\\_globale#cite\\_note-1](https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_di_posizionamento_globale#cite_note-1)
- [3] Indoor positioning system [https://en.wikipedia.org/wiki/Indoor\\_positioning\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Indoor_positioning_system)
- [4] Progettazione e realizzazione di un Indoor Positioning System basato su geomagnetismo e sensor fusion [http://amslaurea.unibo.it/12840/1/federico\\_torsello\\_tesi.pdf](http://amslaurea.unibo.it/12840/1/federico_torsello_tesi.pdf)
- [5] Luca Pappalardo, "Localizzazione - Problema, Tecniche, Algoritmi - Reti mobili: Ad Hoc e di sensori", 2011, <http://didawiki.di.unipi.it/lib/exe/fetch.php/rhs/localizzazione.pdf>
- [6] Cuccado, De Franceschi, Fauri, Sartor, "Analisi di algoritmi di autolocalizzazione per reti di sensori wireless", 2007, <https://art.torvergata.it/retrieve/handle/2108/773/6945/Paolo-Sperandio-Tesi-PhD.pdf>
- [7] An adaptive indoor positioning system based on Bluetooth Low Energy RSSI <https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/92284/3/NicolaCinefra770910TesiDefinitiva.pdf>
- [8] Harrop P, Raghu D. Mobile Phone Indoor Positioning Systems (IPS) and Real Time Locating Systems (RTLS) 2014-2024. Forecasts, Players, Opportunities. IDTechEx

- 
- [9] Ugur Bekcibasi, "Increasing RSSI Localization Accuracy with Distance Reference Anchor in Wireless Sensor Networks", 2014, [http://www.uni-obuda.hu/journal/Bekcibasi\\_Tenruh\\_54.pdf](http://www.uni-obuda.hu/journal/Bekcibasi_Tenruh_54.pdf)
  - [10] Mak LC, Furukawa T. A ToA-based Approach to NLOS Localization Using Low-Frequency Sound. ACRA2006 (Auckland, New Zealand); 2006
  - [11] Mak LC, Furukawa T. A ToA-based Approach to NLOS Localization Using Low-Frequency Sound. ACRA2006 (Auckland, New Zealand); 2006
  - [12] A Simple Technique for angle of arrival measurement [https://www.researchgate.net/publication/4368716\\_A\\_Simple\\_Technique\\_for\\_angle\\_of\\_arrival\\_measurement](https://www.researchgate.net/publication/4368716_A_Simple_Technique_for_angle_of_arrival_measurement)
  - [13] Generalized Geometric Triangulation Algorithm for Mobile Robot Absolute Self-Localization <https://pdfs.semanticscholar.org/dee6/fb124433cac10744afd9502b165ffdec202.pdf>